

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 196 28 958 A 1

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
C 03 B 19/01  
C 03 B 8/04  
C 03 B 37/08  
C 03 B 20/00

21 Aktenzeichen: 196 28 958.0  
22 Anmeldetag: 18. 7. 88  
23 Offenlegungstag: 22. 1. 98

DE 196 28 958 A 1

71 Anmelder:  
Heraeus Quarzglas GmbH, 63450 Hanau, DE

72 Erfinder:  
Schaper, Hartwig, Dr., 63741 Aschaffenburg, DE;  
Ruppert, Klaus, Dr., 63477 Maintal, DE

56 Entgegenhaltungen:  
EP 04 76 218 A1  
EP 00 87 050 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung von Quarzglaskörpern

57 Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung von Quarzglaskörpern werden  $\text{SiO}_2$ -Partikel auf der Zylindermantelfläche eines um seine Längsachse rotierenden, zylinderförmigen Trägers unter Bildung einer länglichen, porösen Vorform abgeschieden, wobei die  $\text{SiO}_2$ -Partikel in einer Vielzahl von Abscheidebrennern gebildet werden, die in mindestens einer parallel zur Längsachse des Trägers verlaufenden Brennerreihe, die zwischen Wendepunkten, an denen sich ihre Bewegungsrichtung umkehrt, mit einer vorgegebenen Translationsgeschwindigkeit hin- und herbewegt wird, angeordnet sind, und wobei die hergestellte Vorform gesintert wird. Um hiervon ausgehend ein Verfahren bereitzustellen, das die Herstellung einer Vorform ermöglicht, die weitgehend frei ist von lokalen axialen Dichteschwankungen und das einfach durchführbar ist, wird erfindungsgemäß einerseits vorgeschlagen, daß der Basiswert der Oberflächentemperatur der sich bildenden Vorform im Bereich zwischen  $1050^\circ\text{C}$  und  $1350^\circ\text{C}$ , die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform im Bereich zwischen 5 m/min und 30 m/min und die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe im Bereich zwischen 100 mm/min und 1500 mm/min gehalten werden. Andererseits wird diese Aufgabe ausgehend von dem bekannten Verfahren erfindungsgemäß auch dadurch gelöst, daß im Bereich der Wendepunkte (A; B) die Umfangsgeschwindigkeit der sich bildenden Vorform erhöht und/oder die Flammentemperatur der Abscheidebrenner gesenkt und/oder der Abstand der ...

DE 196 28 958 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Quarzglaskörpern, durch Abscheiden von  $\text{SiO}_2$ -Partikeln auf der Zylindermantelfläche eines um seine Längsachse rotierenden, zylinderförmigen Trägers unter Bildung einer länglichen, porösen Vorform, wobei die  $\text{SiO}_2$ -Partikel in einer Vielzahl von Abscheidebrennern gebildet werden, die in mindestens einer parallel zur Längsachse des Trägers verlaufenden Brennerreihe, die zwischen Wendepunkten, an denen sich ihre Bewegungsrichtung umkehrt mit einer vorgegebenen Translationsgeschwindigkeit hin- und herbewegt wird, angeordnet sind, und Sintern der so hergestellten Vorform.

Ein derartiges Verfahren ist in der EP-A1 0 476 218 beschrieben. Bei dem bekannten Verfahren werden mittels Flammhydrolyse-Brennern auf einem waagrecht orientierten, um seine Längsachse rotierenden Substratstab  $\text{SiO}_2$ -Partikel schichtweise abgeschieden. Die Brenner sind mit äquidistanten Abstand von 10 cm zueinander auf einem parallel zur Längsachse des Substratstabes verlaufenden Brennerblock montiert. Der Brennerblock wird entlang der während der Abscheidung der  $\text{SiO}_2$ -Partikel sich bildenden porösen, zylinderförmigen Vorform zwischen einem linken und einem rechten Wendepunkt hin- und herbewegt. Die Amplitude dieser Translationsbewegung des Brennerblockes ist kleiner als die Länge der Vorform. Durch das Abbremsen der Translationsbewegung des Brennerblockes bei der Umkehr der Bewegungsrichtung im Bereich der Wendepunkte kommt es dort zu einer Überhitzung der Vorformoberfläche und daher zu lokalen, axialen Dichteschwankungen in der Vorform. Dadurch werden Bereiche unterschiedlicher Reaktivität in der Vorform erzeugt, die sich insbesondere bei nachfolgenden chemischen Reaktionen bei der Weiterverarbeitung der Vorform bemerkbar machen und nach dem Sintern der Vorform Inhomogenitäten im Quarzglaskörper hinterlassen können.

Zur Lösung dieses Problems wird in der EP-A1 0 476 218 vorgeschlagen, die Wendepunkte der Brennerblockbewegung relativ zu der Vorform kontinuierlich zu verlagern und dadurch gleichmäßig über die Vorform zu verteilen. Hierzu werden bei jedem Brennerdurchgang sowohl die rechten, als auch die linken Wendepunkte um einige Millimeter verlagert.

Dadurch werden die an den Wendepunkten entstehenden lokalen Dichteschwankungen aber lediglich gleichmäßig in der Vorform verteilt. Darüberhinaus erfordert die komplizierte Translationsbewegung des Brennerblockes bei dem bekannten Verfahren einen hohen apparativen und regelungstechnischen Aufwand.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, das die Herstellung einer Vorform ermöglicht, die weitgehend frei ist von lokalen axialen Dichteschwankungen und das einfach durchführbar ist.

Diese Aufgabe wird ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß einerseits dadurch gelöst, daß der Basiswert der Oberflächentemperatur der sich bildenden Vorform im Bereich zwischen  $1050^\circ\text{C}$  und  $1350^\circ\text{C}$ , die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform im Bereich zwischen 5 m/min und 30 m/min und die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe im Bereich zwischen 100 mm/min und 1500 mm/min gehalten werden.

Die Oberflächentemperatur der Vorform wird auf der

Vorformoberfläche im Auftreffpunkt der Flamme eines der mittleren Abscheidebrenner der Brennerreihe gemessen. Hierzu wird ein Pyrometer der Firma IMPAC mit der Bezeichnung "Infratherm IN 4/5" verwendet, dessen Meßwellenlänge bei  $5,14\text{ }\mu\text{m}$  liegt. Bei einem Abstand des Pyrometers von der Vorformoberfläche von 30 cm beträgt der Durchmesser des Meßflecks bei einer Temperatur zwischen  $500^\circ\text{C}$  und  $1300^\circ\text{C}$  ca. 5 mm. Der Auftreffpunkt der Flamme des Abscheidebrenners hat einen etwas größeren Durchmesser von ca. 15 mm. Bei korrekter Justierung des Pyrometers befindet sich der Meßfleck innerhalb des Flammen-Auftreffpunktes. Bei einer Dejustierung ist der gemessene Temperaturwert niedriger als die tatsächliche Temperatur. Der bei korrekter Justierung gemessene Temperaturwert wird im folgenden als Oberflächentemperatur der Vorform bezeichnet.

Durch das Abbremsen der Translationsbewegung der Brennerreihe in der Nähe eines Wendepunktes steigt dort die Oberflächentemperatur an, fällt nach Durchlaufen des Wendepunktes allmählich wieder ab und erreicht zwischen den Wendepunkten einen minimalen Temperaturwert. Dieser Temperaturwert wird im folgenden als Basiswert der Oberflächentemperatur bezeichnet.

Dieser Temperaturwert bestimmt im wesentlichen die Dichte der porösen Vorform. Bezogen auf die Dichte von Quarzglas ( $2,2\text{ g/cm}^3$ ) werden bei einer Abscheidung von  $\text{SiO}_2$ -Partikel im angegebenen Temperaturbereich üblicherweise mittlere relative Dichten der Vorform im Bereich zwischen 15% und 35% erreicht. Für eine möglichst genaue Ermittlung der mittleren relativen Dichte der Vorform werden über die Länge der Vorform zehn gleichmäßig verteilte Bohrkernproben mit einem Durchmesser von 3 cm genommen und deren Dichten jeweils mittels Quecksilber-Pyknometrie gemessen. Die mittlere relative Dichte der Vorform ergibt sich dann aus dem arithmetischen Mittelwert dieser Meßwerte, bezogen auf die oben genannte theoretische Dichte von Quarzglas.

Der Basiswert der Oberflächentemperatur wird im wesentlichen durch die Flammentemperatur der Abscheidebrenner, die Anzahl und den Abstand der Abscheidebrenner von der Vorformoberfläche sowie durch deren Größe bestimmt. Er kann von einem Fachmann leicht auf einen Wert im Bereich zwischen  $1050^\circ\text{C}$  und  $1350^\circ\text{C}$  eingestellt werden. Für die Bildung der porösen Vorform können auch mehrere Brennerreihen eingesetzt werden. Die Auftreffpunkte der Abscheidebrenner der verschiedenen Reihen können dabei in einer gemeinsamen Linie auf der Vorformoberfläche verlaufen. Die Abscheidebrenner unterschiedlicher Reihen können — in Richtung senkrecht zur Zylinderachse des Trägers gesehen — auf einer Höhe oder auch versetzt zueinander angeordnet sein. Für den Fall mehrerer Brennerreihen genügt es, den Basiswert der Oberflächentemperatur bei einer der Reihen zu ermitteln.

Es hat sich gezeigt, daß bei einem Basiswert der Oberflächentemperatur im Bereich zwischen  $1050^\circ\text{C}$  und  $1350^\circ\text{C}$  eine relativ geringe Erhöhung der Oberflächentemperatur gegenüber dem Basiswert im Bereich der Wendepunkte von maximal  $150^\circ\text{C}$  erreicht wird, wenn die angegebenen Geschwindigkeitsbereiche für die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform oder für die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe eingehalten werden. Mit einer Temperaturerhöhung um  $150^\circ\text{C}$  geht eine Erhöhung der relativen Dichte um maximal ca. 6 Prozentpunkte einher. Ein solcher

axialer Dichtegradient in der Vorform vermindert nicht die Brauchbarkeit des daraus nach dem Sintern hergestellten Quarzglaskörpers für viele Anwendungen. Selbstverständlich ist die Erhöhung der relativen Dichte umso geringer, je kleiner der Temperaturunterschied zwischen dem Basiswert und dem Maximalwert im Bereich der Wendepunkte gehalten wird.

Als wesentlich hat es sich erwiesen, daß die Relativbewegung der Abscheidebrenner zur Vorformoberfläche im Mittel (über den gesamten Bewegungszyklus gesehen) relativ klein ist. Auf Grundlage dieser Erkenntnis und der angegebenen Geschwindigkeitsbereiche für die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform und für die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe, kann der Fachmann anhand weniger Versuche diese Maßnahmen so optimieren, daß an den Wendepunkten die Temperaturerhöhung 150°C gegenüber dem Basiswert der Oberflächentemperatur nicht überschreitet. Dadurch, daß eine oder beide der genannten Geschwindigkeiten während einer Hin- und Herbewegung der Brennerreihe (im folgenden als "Bewegungszyklus" bezeichnet) auf einem relativ kleinen, mittleren Wert eingestellt werden, wird die Vorformoberfläche in der Nähe des Flammenaufreffpunktes gut durchwärmt. Der Unterschied zwischen der Temperatur der gut durchwärmten Oberfläche und der höheren Temperatur im Bereich der Wendepunkte ist daher relativ gering. Die relative Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte (im Vergleich zur gut durchwärmten Vorformoberfläche) ist daher umso kleiner, je geringer die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen der Vorformoberfläche und der Brennerreihe im Mittel ist. Eine langsame Relativbewegung ermöglicht es, die Vorform über ihre gesamte Länge mit einer zeitlich und räumlich möglichst gleich hohen Heizleistung zu beaufschlagen.

Unter der mittleren Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe wird das Verhältnis der bei einem Bewegungszyklus zurückgelegten Strecke und der dafür benötigten Zeit verstanden.

Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der sich bildenden Vorform ergibt sich aus der Strecke, die jeder Punkt am Umfang der Vorform während eines Bewegungszyklus zurücklegt, bezogen auf die dafür benötigte Zeit.

Üblicherweise wird die mittlere Translationsgeschwindigkeit während des gesamten Abscheide-Verfahrens konstant gehalten. Dabei ist aber zu beachten, daß an den Wendepunkten die Translationsgeschwindigkeit gleich Null ist und in der Praxis das Abbremsen der Brennerreihe einen Bremsweg und das Beschleunigen eine Beschleunigungsstrecke erfordern, bei deren Durchlaufen die mittlere Translationsgeschwindigkeit zwangsläufig nicht eingestellt sein kann.

Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit kann ebenfalls während des gesamten Abscheide-Verfahrens konstant gehalten werden. In diesem Fall ist die Rotationsgeschwindigkeit des Trägers kontinuierlich zu verringern, da der Außendurchmesser der Vorform und damit seine Zylindermantelfläche im Verlaufe des Abscheide-Verfahrens kontinuierlich größer werden.

Sowohl die Translationsgeschwindigkeit, als auch die Umfangsgeschwindigkeit können während des Bewegungszyklus variiert werden, beispielsweise kann die Umfangsgeschwindigkeit im Bereich der Wendepunkte erhöht werden.

In kinematischer Umkehr kann anstelle der Brennerreihe oder zusätzlich dazu selbstverständlich auch die Vorform hin- und herbewegt werden, wobei dann an die

Stelle der Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe die Translationsgeschwindigkeit der Vorform, bzw. die Relativgeschwindigkeit zwischen der Brennerreihe und die Vorformoberfläche zu beachten ist.

Als nachteilig hat es sich erwiesen, wenn der Vorformbereich zwischen benachbarten Wendepunkten während eines Bewegungszyklus auf eine zu geringe Temperatur abkühlen kann. Eine solche nachteilige Abkühlung wird durch die angegebenen Mindestgeschwindigkeiten für die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform bzw. für die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe verhindert.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden axiale Dichtegradienten in der Vorform weitgehend vermieden; es geht daher über eine lediglich gleichmäßige Verteilung von Dichtegradienten in der Vorform, wie im Stand der Technik beschrieben, hinaus. Eine Verlagerung der Wendepunkte ist hierfür nicht erforderlich, so daß der apparative und regelungstechnische Aufwand gering gehalten werden kann. Als ergänzende Maßnahme ist eine Verlagerung der Wendepunkte aber denkbar.

In einer bevorzugten Verfahrensweise wird die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der sich bildenden Vorform im Bereich zwischen 8 m/min und 15 m/min und die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe im Bereich zwischen 300 mm/min und 800 mm/min gehalten. Dadurch wird eine besonders kleine Relativbewegung zwischen der Vorformoberfläche und den Abscheidebrennern erreicht und gleichzeitig ein Absinken der Temperatur der Vorformoberfläche zwischen den Wendepunkten weitgehend minimiert. Dies gewährleistet eine besonders geringe Temperaturerhöhung an den Wendepunkten.

Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, den Abstand benachbarter Wendepunkte im Bereich zwischen 5 cm und 40 cm zu halten. Dies trägt dazu bei, ein übermäßiges Abkühlen der Vorformoberfläche zwischen benachbarten Wendepunkten während eines Bewegungszyklus zu verhindern.

In dieser Hinsicht hat es sich auch bewährt, zwischen zwei benachbarten Abscheidebrennern einer Brennerreihe jeweils einen Warmhaltebrenner einzusetzen. Die Warmhaltebrenner, die entsprechend der Bewegung der Brennerreihe bewegt werden, verkürzen den Abstand der beheizten Bereiche auf der Vorform. Sie können mittig zwischen den Abscheidebrennern angeordnet sein. Hierzu können die Warmhaltebrenner auf der gleichen Brennerreihe oder auf einer separaten, synchron zur Bewegung der Brennerreihe entlang dem Träger bewegten, Warmhalteblock angeordnet sein.

Weiterhin wird die oben genannte Aufgabe ausgehend von dem Verfahren gemäß der angegebenen Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß im Bereich der Wendepunkte die Umfangsgeschwindigkeit der sich bildenden Vorform erhöht und/oder die Flammentemperatur der Abscheidebrenner gesenkt und/oder der Abstand der Abscheidebrenner von der Vorform-Oberfläche verändert wird.

Mittels jeder dieser Maßnahmen oder mittels einer Kombination der Maßnahmen kann eine Temperaturerhöhung der Vorformoberfläche im Bereich der Wendepunkte ganz oder teilweise kompensiert werden. Die Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte überschreitet den oben definierten Basiswert der Oberflächentemperatur der Vorform somit nicht oder nur geringfügig. Damit wird erreicht, daß die Vorform über ihre gesamte Länge mit einer zeitlich und räumlich mög-

lichst gleich hohen Heizleistung beaufschlagt wird. Axiale Dichtegradienten in der Vorform werden somit weitgehend vermieden.

Die Veränderung der genannten Parameter im Bereich der Wendepunkte kann geregelt oder gesteuert erfolgen. Die Stärke der erforderlichen Veränderung hängt von einer Vielzahl von Vorgaben ab, beispielsweise von den aktuellen Parameterwerten, dem Basiswert der Oberflächentemperatur der Vorform oder von dem tolerierbaren axialen Dichtegradienten der Vorform. Die Veränderung der Parameter kann aber vom Fachmann auf Grundlage der angegebenen Lehre anhand weniger Versuche für den konkreten Einzelfall leicht optimiert werden.

Die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit bezieht sich auf die mittlere Umfangsgeschwindigkeit, wie sie oben definiert worden ist. Durch die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit überstreicht im Bereich der Wendepunkte pro Zeiteinheit jeder Abscheidebrenner eine größere Umfangsfläche der sich bildenden Vorform. Dadurch wird die Heizleistung pro Flächeneinheit und damit die Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte verringert.

Die Senkung der Flammentemperatur der Abscheidebrenner bezieht sich auf die Flammentemperatur, wie sie im Mittel im Bereich zwischen den Wendepunkten eingestellt ist.

Der Abstand der Abscheidebrenner von der Vorformoberfläche kann vergrößert oder verkleinert werden. Eine Verkleinerung oder Vergrößerung des Abstandes kann eine Senkung der Oberflächentemperatur bewirken, wenn die Brennerflamme im Auftreffpunkt dadurch kälter wird. Dies kann insbesondere bei sogenannten fokussierenden Abscheidebrennern der Fall sein. Der Abstand wird dabei gemessen zwischen der Mündung der Abscheidebrenner und der Vorformoberfläche.

Der Bereich um die Wendepunkte, in dem diese zusätzlichen Maßnahmen sinnvoll sind, beginnt bei einer Größenordnung von einigen Millimetern um die jeweiligen Wendepunkte. Der Bereich kann aber bis über die Mitte benachbarter Wendepunkte hinausreichen, wie dies weiter unten für den Fall einer kontinuierlichen Veränderung eines Parameters in einem Übergangsbereich näher erläutert wird.

Auf eine axiale Variation der Wendepunkte des Brennerreihe kann auch bei dieser Verfahrensweise verzichtet werden. Daher ist trotz der erforderlichen regelungstechnischen oder Steuerungseinrichtungen der apparative Aufwand im Vergleich zu dem eingangs beschriebenen, aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren gering. Als ergänzende Maßnahme ist eine Variation der Brenner-Wendepunkte aber denkbar.

Bei einer bevorzugten Verfahrensweise wird eine Senkung der Flammentemperatur erreicht, indem die Zufuhr von Brennergasen zu den Abscheidebrennern relativ zu den Zufuhrraten von anderen den Abscheidebrennern zugeführten Gasen verringert wird. Unter den Brennergasen werden diejenigen Gase verstanden, deren exotherme Reaktion miteinander die Brennerflamme im wesentlichen speist. Bei einem Knallgasbrenner handelt es sich beispielsweise um die Brennergase Sauerstoff und Wasserstoff, wovon der Einfachheit halber im folgenden ausgegangen wird. Eine Senkung der Flammentemperatur wird entweder durch eine Verringerung der Zufuhr von Sauerstoff und/oder Wasserstoff zu den Abscheidebrennern oder durch eine Zufuhr oder eine Erhöhung der Zufuhr anderer Gase, wie beispielsweise von Inertgas oder von Aus-

gangsstoffen für die Bildung der  $\text{SiO}_2$ -Partikel erreicht.

Dabei hat es sich besonders bewährt, die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit des sich bildenden Vorforms, die Senkung der Flammentemperatur der Abscheidebrenner und/oder die Veränderung des Abstandes der Abscheidebrenner von der Vorformoberfläche innerhalb von vor oder an den Wendepunkten endenden Übergangsbereichen allmählich vorzunehmen. Durch die allmähliche Änderung wird ein homogener Übergang zwischen den Vorform-Bereichen um die Wendepunkte und den übrigen Bereichen der Vorform erreicht. Innerhalb der Übergangsbereiche wird der zu ändernde Parameter auf den gewünschten Wert eingeregelt. Die Einregelung des Wertes kann genau am Wendepunkt beendet sein, aber auch schon vorher. Die Übergangsbereiche erstrecken sich jeweils beiderseits der Wendepunkte. Bei der Wegbewegung der Brennerreihe von den Wendepunkten werden die vorher veränderten Parameter wieder allmählich auf ihren ursprünglichen Wert zurückgeregelt. Die Übergangsbereiche beginnen üblicherweise mindestens 10 mm vor dem jeweiligen Wendepunkt, da sich bei kürzeren Übergangsbereichen der Effekt einer allmählichen Änderung der Parameter kaum bemerkbar macht.

Bei ihrer Wegbewegung von den Wendepunkten überfährt die Brennerreihe Vorformbereiche, die durch das Erhitzen bei der Hinbewegung noch eine hohe Oberflächentemperatur aufweisen. Es hat sich daher als günstig erwiesen, bei der Hinbewegung der Brennerreihe zu den Wendepunkten einen kürzeren Übergangsbereich einzustellen als bei ihrer Wegbewegung von den Wendepunkten. Aufgrund des längeren Übergangsbereiches werden die jeweiligen Parameter langsamer auf ihren ursprünglichen Wert zurückgeregelt. Dadurch wird eine zu hohe Erhitzung der noch heißen Vorformbereiche möglichst vermieden.

Vorteilhafterweise wird die Temperatur der Vorformoberfläche im Flammenauftreffpunkt eines Abscheidebrenners gemessen, und der gemessene Wert wird zur Regelung der Rotationsgeschwindigkeit des Trägers, der Flammentemperatur der Abscheidebrenner und/oder des Abstandes der Abscheidebrenner von der Vorformoberfläche verwendet. Diese Maßnahme trägt zur Vermeidung einer unzulässigen Temperaturerhöhung an den Wendepunkten bei und ermöglicht die Einhaltung einer konstanten Vorform-Dichte über die gesamte Dauer der Abscheidung.

Alternativ dazu hat sich auch ein Verfahren bewährt, bei dem die Rotationsgeschwindigkeit des Trägers, die Flammentemperatur der Abscheidebrenner und/oder der Abstandes der Abscheidebrenner von der Vorformoberfläche gesteuert werden. Die Steuerung wird so eingestellt, daß bei jedem Bewegungszyklus der oder die Parameter im Bereich der Wendepunkte gleichermaßen verändert werden. Eine Steuerung wird besonders in den Fällen bevorzugt, in denen eine Regelung nicht sinnvoll oder nur mit hohem regelungstechnischen Aufwand zu verwirklichen ist.

Als besonders vorteilhaft hat sich eine kombinierte Verfahrensweise erwiesen, bei der einerseits der Basiswert der Oberflächentemperatur der sich bildenden Vorform im Bereich zwischen  $1050^\circ\text{C}$  und  $1350^\circ\text{C}$ , die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform im Bereich zwischen 5 m/min und 30 m/min und die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe im Bereich zwischen 100 mm/min und 1500 mm/min gehalten wird, und bei der andererseits zusätzlich im Bereich der Wendepunkte die Umfangsgeschwindigkeit der sich bil-

denden Vorform erhöht und/oder die Flammentemperatur der Abscheidebrenner gesenkt und/oder der Abstand der Abscheidebrenner von der Vorformoberfläche verändert wird. Die oben näher erläuterten vorteilhaften Ausführungsformen der einzelnen erfindungsgemäßen Verfahrensweisen, haben sich auch für eine solche kombinierte Verfahrensweise bewährt.

Sowohl die Einhaltung der Oberflächentemperatur und der genannten Geschwindigkeiten als auch die Veränderung der genannten Parameter im Bereich der Wendepunkte zielen auf eine zeitlich und örtlich möglichst gleichmäßige Beheizung der Vorform ab und tragen dazu bei, daß der Unterschied zwischen dem Basiswert der Oberflächentemperatur und der Temperatur an den Wendepunkten möglichst gering gehalten werden kann. Durch die Kombination der Maßnahmen wird dieser Temperaturunterschied daher besonders gering gehalten.

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in der Patentzeichnung dargestellt und werden nachfolgend näher erläutert. In der Zeichnung zeigen im einzelnen in schematischer Darstellung

Fig. 1 einen Bewegungszyklus mit einer konstanten Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks und einer konstanten Umfangsgeschwindigkeit der Vorform anhand von Geschwindigkeitsprofilen,

Fig. 2 einen Bewegungszyklus mit einer im Bereich der Umkehrpunkte erhöhten Umfangsgeschwindigkeit der Vorform anhand von Geschwindigkeitsprofilen,

Fig. 3 einen Bewegungszyklus, bei dem in einem Übergangsbereich die Flammentemperatur der Abscheidebrenner variiert wird, anhand eines Temperaturprofils,

Fig. 4 einen Bewegungszyklus, bei dem in einem Übergangsbereich die Flammentemperatur der Abscheidebrenner variiert wird, anhand eines weiteren Temperaturprofils,

Fig. 5 einen Bewegungszyklus, bei dem in einem Übergangsbereich der Abstand zwischen der Brennermündung und der Vorformoberfläche variiert wird, anhand eines Abstandsprofils und

Fig. 6 eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Seitenansicht.

In Fig. 6 ist schematisch eine Vorrichtung dargestellt, wie sie bei den nachfolgend näher erläuterten Ausführungsbeispielen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eingesetzt worden ist. Auf einem um seine Längsachse 63 rotierenden Träger 61 aus Aluminiumoxid wird eine poröse Vorform 62 aus  $\text{SiO}_2$ -Partikeln abgeschieden. Die Abscheidung der  $\text{SiO}_2$ -Partikel erfolgt mittels Abscheidebrennern 65 aus Quarzglas, die in einer Reihe 66 auf einem parallel zur Längsachse 63 des Trägers 62 angeordneten Brennerblock 64 montiert sind. Der Brennerblock 64 wird dabei entlang der Längsachse 63 des Trägers 61 zwischen zwei, in Bezug auf die Längsachse 63 ortsfesten Wendepunkten hin- und herbewegt. Die Amplitude der Hin- und Herbewegung ist mittels des Richtungspfeiles 67 charakterisiert. Sie beträgt 15 cm und sie entspricht — in Richtung der Längsachse 63 gesehen — dem axialen Abstand der Wendepunkte bzw. demjenigen der Abscheidebrenner 65 voneinander.

Die Reihe 66 der Abscheidebrenner 65 für die Abscheidung wird auf beiden Seiten durch jeweils einen Zusatzbrenner 68 abgeschlossen. Die Zusatzbrenner 68 sind ebenfalls auf dem Brennerblock 64 montiert, wobei ihr Abstand vom benachbarten Abscheidebrenner 65 jeweils dem oben genannten Brennerabstand entspricht.

Die Flammentemperatur der Zusatzbrenner 68 wird auf etwa den gleichen Wert eingestellt wie diejenige der Abscheidebrenner 65. Sie dienen dazu, in den Randbereichen der Brennerreihe 66, ein ähnliches Temperaturprofil zu erzeugen, wie in deren mittleren Bereich. Den Abscheidebrennern 65 werden jeweils als Brennergase Sauerstoff und Wasserstoff und als Ausgangsmaterial für die Bildung der  $\text{SiO}_2$ -Partikel gasförmiges  $\text{SiCl}_4$  zugeführt. Die beiden Zusatzbrenner 68 werden lediglich mit den Brennergasen gespeist.

Im Bereich der beiden Stirnseiten der Vorform 62 sind zusätzliche Heizbrenner 69 vorgesehen, die in Bezug auf die Vorform 62 ortsfest montiert sind. Die Heizbrenner 69 erzeugen in den Randbereichen der Vorform 62 im Vergleich zu den Abscheidebrennern 65 bzw. den Zusatzbrennern 68 eine höhere Temperatur. Dies führt zu einer Verdichtung der beiderseitigen Enden der Vorform 62 und somit zu einer höheren mechanischen Stabilität.

Die Temperatur der Vorformoberfläche 70 wird kontinuierlich gemessen. Hierzu ist ein Pyrometer 71 auf die Vorformoberfläche 70 gerichtet, wobei sein Meßfleck im Auftreffpunkt der Flamme 72 eines der mittleren Abscheidebrenner 65a liegt. Das Pyrometer 71 ist mit dem Brennerblock 64 verbunden und wird mit diesem hin- und herbewegt. Es handelt sich um ein Pyrometer der Firma IMPAC mit der Bezeichnung "Infratherm IN 4/5", dessen Meßwellenlänge bei  $3,14 \mu\text{m}$  liegt. Der Abstand des Pyrometers 71 von der Vorformoberfläche 70 beträgt 30 cm und der Durchmesser des Meßflecks ca. 5 mm. Der Auftreffpunkt der Flamme 72 des Abscheidebrenners 65a hat einen Durchmesser von ca. 15 mm. Aus den so gewonnenen Meßwerten wird der Basiswert der Oberflächentemperatur als die niedrigste Temperatur bei einem Bewegungszyklus, also einer Hin- und Herbewegung des Brennerblocks 64, ermittelt.

Das Pyrometer 71 ist mit einer Regeleinrichtung 73 verbunden, die die Brennergas-Zufuhr zu den Abscheidebrennern 65 regelt.

Der Abstand zwischen der Oberfläche 70 der Vorform 62 und dem Brennerblock 64 wird während der Abscheideprozesses konstant gehalten. Hierzu ist der Brennerblock 64 in einer Richtung senkrecht zur Längsachse 63 des Trägers 61 bewegbar, wie dies mit dem Richtungspfeil 74 angedeutet ist.

Bei den Diagrammen der Fig. 1 bis 4 sind Profile von Parametern dargestellt, die während eines Bewegungszyklus zwischen zwei benachbarten Wendepunkten A und B verändert werden. Auf der Ordinate ist jeweils die Strecke der Brennerblockbewegung zwischen den Wendepunkten A und B, und auf der Abszisse verschiedene Parameter der  $\text{SiO}_2$ -Abscheidung aufgetragen.

Die Kurven der Parameterprofile sind mit Richtungspfeilen versehen, die für jeden Kurvenabschnitt die jeweilige Richtung der Brennerblockbewegung angeben. Der deutlicheren Darstellung wegen sind auch bei übereinstimmenden Parameterwerten bei der Hin- und bei der Zurückbewegung in den Diagrammen die Kurven nebeneinander verlaufend (und nicht übereinander verlaufend) eingetragen.

#### Ausführungsbeispiel 1

In Fig. 1 ist auf der Abszisse als  $v_1$  die Umfangsgeschwindigkeit der Vorform und als  $v_2$  die Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks aufgetragen.

Die Umfangsgeschwindigkeit  $v_1$  ist während des gesamten Bewegungszyklus und während des gesamten

Abscheide-Prozesses konstant auf 12 m/min eingestellt. In dem Diagramm ist der Kurvenabschnitt, der die Umfangsgeschwindigkeit bei der Hinbewegung des Brennerblocks zu dem Wendepunkt B repräsentiert mit 1a, und der Kurvenverlauf bei der Zurückbewegung des Brennerblocks vom Wendepunkt B zum Wendepunkt A mit 1b gekennzeichnet.

Die mittlere Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks beträgt 500 mm/min (Kurven 2a und 2b).  $v_2$  wird — abgesehen von Brems- bzw. Beschleunigungsstrecken 3 im Bereich der Wendepunkte A, B, die für den Mittelwert der Translationsgeschwindigkeit vernachlässigbar sind — ebenfalls sowohl während des gesamten Bewegungszyklus, als auch während des gesamten Abscheide-Prozesses (vom Betrag her) konstant gehalten. Die Längen der Brems- bzw. Beschleunigungsstrecken 3 liegen im Bereich weniger Millimeter.

Das in Fig. 1 dargestellte Geschwindigkeitsprofil wird während des gesamten Abscheide-Prozesses beibehalten. Auf der Vorformoberfläche wird während der Abscheidung ein Basiswert der Oberflächentemperatur von ca. 1250°C gemessen. Dabei ist zu beachten, daß die Oberfläche mit zunehmendem Außendurchmesser der Vorform u. a. aufgrund der zunehmenden Wärmeabstrahlung schneller abkühlt. Um den Basiswert der Oberflächentemperatur konstant auf etwa 1250°C zu halten, sind daher Maßnahmen erforderlich, die dem schnelleren Abkühlen entgegenwirken. Hierzu wird im Ausführungsbeispiel die Flammentemperatur der Abscheidebrenner kontinuierlich erhöht.

Die Umfangsgeschwindigkeit der Vorform  $v_1$  sowie die mittlere Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks  $v_2$  sind relativ klein. Aufgrund dessen ist auch die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen den Abscheidebrennern und dem Brennerblock gering und es wird eine gute Durchwärmung der Vorform im Bereich des Auftreffpunktes der Brennerflamme erreicht. Die Temperaturerhöhung aufgrund des doppelten Aufheizens der Vorformoberfläche durch die Hin- und Herbewegung im Bereich der Wendepunkte A, B beträgt daher lediglich 50°C. Dadurch wird ein relativ flacher Verlauf der Oberflächentemperatur zwischen den Wendepunkten A, B und somit ein geringer Dichtegradient der Vorform in diesem Bereich gewährleistet.

#### Ausführungsbeispiel 2

Auch in Fig. 2 ist auf der Abszisse die Umfangsgeschwindigkeit  $v_1$  der Vorform und die Translationsgeschwindigkeit  $v_2$  des Brennerblocks aufgetragen.

Die mittlere Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks beträgt 800 mm/min (Kurve 4a und 4b). Sie wird — abgesehen von Brems- bzw. Beschleunigungsstrecken 5 im Bereich der Wendepunkte A, B — ebenfalls sowohl während des Bewegungszyklus, als auch während des gesamten Abscheide-Prozesses (vom Betrag her) konstant gehalten. Die Längen der Brems- bzw. Beschleunigungsstrecken 5 liegen im Bereich weniger Millimeter.

Die Umfangsgeschwindigkeit  $v_1$  der Vorform wird anhand eines festen Programms gesteuert. Sie wird über eine Strecke von etwa 9 cm zwischen den Wendepunkten A, B auf 12 m/min (Kurvenabschnitte 5a und 5b) eingestellt. Bei der Hinbewegung des Brennerblocks, beispielsweise in Richtung auf den Wendepunkt B und ab ca. 3 cm vor diesem, wird die Umfangsgeschwindigkeit  $v_1$  in einem Übergangsbereich 6c von ca. 5 mm Länge allmählich auf einen Wert von 18 m/min erhöht

(Kurvenabschnitt 6a).  $v_1$  wird dann bis zum Wendepunkt B auf diesem höheren Wert gehalten (Kurvenabschnitt 7a). Bei der Wegbewegung des Brennerblocks vom Wendepunkt B läuft das gleiche Geschwindigkeitsprofil in umgekehrter Richtung ab (Kurvenabschnitte 7b, 6b, 5b). Der gleiche Geschwindigkeitsprofil wird entsprechend bei der Hinbewegung des Brennerblocks in Richtung auf den Wendepunkt A gefahren. Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit im Bewegungszyklus beträgt etwa 14 m/min. Der Betrag dieser Geschwindigkeit ist in Fig. 2 schematisch anhand der punktierten Linie 8 angedeutet.

Das in Fig. 2 dargestellte Geschwindigkeitsprofil wird während des gesamten Abscheide-Prozesses beibehalten. An der Vorformoberfläche wird während des Abscheide-Prozesses ein Basiswert der Oberflächentemperatur von 1280°C gemessen. Hinsichtlich der Beibehaltung dieser Oberflächentemperatur mit zunehmendem Außendurchmesser der Vorform gilt das weiter oben zu Fig. 1 Gesagte. Eine konstante Oberflächentemperatur ist erforderlich, wenn ein radialer Dichtegradient in der Vorform vermieden werden soll.

Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform sowie die mittlere Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks sind relativ klein. Aufgrund dessen ist auch die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen den Abscheidebrennern und dem Brennerblock gering und es wird eine gute Durchwärmung der Vorform im Bereich des Auftreffpunktes der Brennerflamme erreicht. Zusätzlich wird die Vorform im Bereich der Wendepunkte A, B durch die höhere Umfangsgeschwindigkeit mit einer geringeren Heizleistung pro Flächeneinheit beaufschlagt, so daß die Temperaturerhöhung aufgrund des doppelten Aufheizens der Vorformoberfläche durch die Hin- und Herbewegung im Bereich der Wendepunkte A, B sehr gering gehalten werden kann. Sie beträgt lediglich 40°C.

#### Ausführungsbeispiel 3

Die Umfangsgeschwindigkeit  $v_1$  der Vorform und die Translationsgeschwindigkeit  $v_2$  des Brennerblocks werden entsprechend dem anhand Fig. 1 erläuterten Ausführungsbeispiel gesteuert. An der Vorformoberfläche wird während des Abscheide-Prozesses ein Basiswert der Oberflächentemperatur von konstant 1250°C eingehalten. Zusätzlich wird bei diesem Ausführungsbeispiel im Bereich der Wendepunkte der Brennerblockbewegung die Flammentemperatur der Abscheidebrenner variiert.

Die Variation der Flammentemperatur erfolgt programmgesteuert und wird anhand Fig. 3 näher erläutert. Auf der Abszisse ist die Flammentemperatur  $T$  der Abscheidebrenner in relativen Einheiten aufgetragen.

In einem mittleren Bereich zwischen den Wendepunkten A, B (Kurvenabschnitte 9a, 9b) wird die Flammentemperatur auf hohem Niveau konstant gehalten. Bei der Hinbewegung des Brennerblocks, beispielsweise in Richtung auf den Wendepunkt B und ab ca. 3 cm vor diesem, wird die Flammentemperatur in einem Übergangsbereich 10c kontinuierlich abgesenkt (Kurvenabschnitt 10a). Der Übergangsbereich 10c endet am Wendepunkt B.

In einer ersten Verfahrensvariante wird die Flammentemperatur abgesenkt, indem die Brennergazufuhr kontinuierlich verringert wird, und zwar um insgesamt 8% ihres Anfangswertes, wie er unmittelbar vor dem Übergangsbereich 10c eingestellt ist. Dabei wird das

Verhältnis von Sauerstoff zu Wasserstoff konstant gehalten. Auch die Zufuhr der übrigen Gase zu den Abscheidebrennern wird nicht verändert.

In einer zweiten Verfahrensvariante wird die Flammentemperatur abgesenkt, indem den Brennern zusätzlich Stickstoff zugeführt wird. Hierzu wird im Übergangsbereich 10c der Stickstoffstrom kontinuierlich bis zu einer Menge von etwa 20% der Wasserstoffzufuhr erhöht.

In einer dritten Verfahrensvariante wird die Flammentemperatur abgesenkt, indem den Brennern zusätzlich  $\text{SiCl}_4$  zugeführt wird, wobei die Zufuhrate der Brennergase konstant gehalten wird. Hierzu wird der  $\text{SiCl}_4$ -Gasstrom kontinuierlich bis zu 20% seines Anfangswertes, wie er unmittelbar vor dem Übergangsbereich 10c eingestellt ist, erhöht.

Beim Zurückfahren des Brennerblocks vom Wendepunkt B wird die Flammentemperatur in einem weiteren Übergangsbereich 10d allmählich wieder auf den ursprünglichen Wert angehoben (Kurvenabschnitt 10b); jedoch erfolgt die Temperaturerhöhung etwas langsamer als die Temperaturabsenkung im Kurvenabschnitt 10a. Dies hat seinen Grund darin, daß beim Zurückfahren die Oberflächentemperatur der Vorform in dem an den Wendepunkt angrenzenden Bereich aufgrund der bei der Hinbewegung erfolgten Erhitzung noch erhöht ist. Um eine zusätzliche Erhitzung dieses Bereiches durch eine schnelle Erhöhung der Flammentemperatur zu vermeiden, wird diese langsamer als im Übergangsbereich 10c auf ihren ursprünglichen Wert erhöht, den sie im Kurvenabschnitt 9b schließlich erreicht. Durch diese unterschiedlich langen Übergangsbereiche 10c, 10d werden hohe Temperaturdifferenzen und damit Dichteunterschiede verhindert oder deutlich verringert.

Den gleichen Zweck erfüllt eine Verfahrensvariante, bei der die Flammentemperatur beim Zurückfahren von dem Wendepunkt B zunächst eine gewisse Strecke konstant niedrig gehalten und erst danach wieder erhöht wird, wie dies anhand des Ausführungsbeispiels 5 für ein ähnliches Verfahren näher erläutert wird.

Bei allen Verfahrensvarianten erfolgt die Erhöhung der Flammentemperatur durch Wiedereinstellung der ursprünglichen Gas-Zufuhraten zu den Abscheidebrennern.

Durch die Absenkung der Flammentemperatur wird die Vorform im Bereich der Wendepunkte A, B mit einer geringeren Heizleistung beaufschlagt, so daß die Temperaturerhöhung aufgrund des doppelten Aufheizens der Vorformoberfläche durch die Hin- und Herbewegung im Bereich der Wendepunkte A, B lediglich 35°C beträgt.

Bei einer weiteren Verfahrensvariante ist die Flammentemperatur der Abscheidebrenner mittels einer Regelung einstellbar. Für die Regelung wird der Sollwert der Oberflächentemperatur auf 1250°C eingestellt. Die Oberflächentemperatur der Vorform wird laufend am Auftreffpunkt der Flamme eines der Abscheidebrenner mittels einer Pyrometers gemessen. Bei einer Veränderung der Oberflächentemperatur, beispielsweise bei der Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte, wird die Flammentemperatur aller Abscheidebrenner mittels der Regelung durch Änderung eines oder mehrerer der den Abscheidebrennern zugeführten Gasströme angepaßt. Für die Änderung der Flammentemperatur sind die oben angegebenen Verfahrensvarianten geeignet. Die Regelung trägt insbesondere zur Vermeidung einer unzulässigen Temperaturerhöhung an den Wendepunkten bei und ermöglicht

die Einhaltung einer konstanten Vorform-Dichte über die gesamte Dauer der Abscheidung. Die Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte läßt sich dadurch auf weniger als 30°C begrenzen.

#### Ausführungsbeispiel 4

Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Parameter der Abscheidung entsprechend der anhand Fig. 3 erläuterten Verfahrensweise eingestellt. Im Unterschied zu dem in Fig. 3 dargestellten Profil der Flammentemperatur "T" wird bei der Verfahrensweise gemäß Fig. 4 die Flammentemperatur jedoch programmgesteuert im Bewegungszyklus stetig variiert. Die Bereiche konstanter Flammentemperatur (Kurvenabschnitte 9a und 9b in Fig. 3) entfallen bei diesem Temperaturprofil daher.

Bei der Hinbewegung des Brennerblocks auf den Wendepunkt B erreicht die Brennerflamme ihre Maximaltemperatur in einem Punkt 11a, ca. 6 cm vor dem Wendepunkt B. Danach wird die Flammentemperatur in einem Übergangsbereich 12c stetig gesenkt (Kurvenabschnitt 12a) und erreicht ihre Minimaltemperatur am Wendepunkt B. Dort endet somit der Übergangsbereich 12c. Die Absenkung der Flammentemperatur erfolgt entsprechend den oben, anhand Fig. 3 erläuterten Verfahrensvarianten.

Beim Zurückfahren des Brennerblocks wird die Flammentemperatur in einem weiteren Übergangsbereich 12d wieder allmählich auf die Maximaltemperatur gebracht, die sie im Punkt 11b des Temperaturprofils erreicht (Kurvenabschnitt 12b). Der Übergangsbereich 12d endet ca. 6 cm vor dem Wendepunkt A; er erstreckt sich somit vom Wendepunkt B an über eine Länge von ca. 9 cm. Durch die langsamere Temperaturerhöhung im Übergangsbereich 12d beim Zurückfahren wird eine Überhitzung der Vorformoberfläche in den dem Wendepunkt B angrenzenden Vorformbereichen vermieden, wie dies anhand Fig. 3 bereits näher erläutert worden ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel überlappen die jeweiligen Übergangsbereiche 12d, 13d beim Zurückfahren von den jeweiligen Wendepunkten A bzw. B.

Bei dieser Verfahrensvariante werden Unstetigkeiten der Flammentemperatur vermieden. Zusätzlich zu den anhand Fig. 1 bereits erläuterten Maßnahmen wird die Flammentemperatur im Bereich der Wendepunkte A, B gesenkt. Dadurch wird die Vorform dort mit einer geringeren Heizleistung beaufschlagt, so daß die Temperaturerhöhung aufgrund des doppelten Aufheizens der Vorformoberfläche durch die Hin- und Herbewegung im Bereich der Wendepunkte A, B lediglich 35°C beträgt.

#### Ausführungsbeispiel 5

Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die Umfangsgeschwindigkeit der Vorform und die Translationsgeschwindigkeit des Brennerblocks entsprechend dem anhand Fig. 1 erläuterten Ausführungsbeispiel eingestellt. An der Vorformoberfläche wird während des Abscheide-Prozesses ein konstanter Basiswert der Oberflächentemperatur von 1250°C gemessen.

Zu einer geringen Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte trägt bei diesem Ausführungsbeispiel eine Veränderung des Abstandes der Abscheidebrenner-Mündungen von der Vorformoberfläche bei. Dieser Abstand "D" ist bei dem in Fig. 5 dargestellten Bewegungszyklus auf der Abszisse aufgetragen. Betrachtet



man den Bewegungszyklus bei der Bewegung des Brennerblocks in Richtung des Wendepunktes B, so ist ersichtlich, daß zwischen den Wendepunkten A, B der Abstand über eine Strecke 14c von etwa 9 cm auf etwa 15 cm konstant klein gehalten (Kurvenabschnitt 14a) und anschließend in einem Übergangsbereich 15b mit einer konstanten Veränderungsrate von 7,5 mm/s allmählich vergrößert wird (Kurvenabschnitt 15a). Der Übergangsbereich 15b endet am Wendepunkt B; dort ist der Abstand zwischen der Abscheidebrenner-Mündung und der Vorformoberfläche um ca. 10% größer als im Kurvenabschnitt 14a; er beträgt somit ca. 16,5 cm.

Beim Zurückfahren des Brennerblocks wird der Abstand über eine Strecke 16b von ca. 2,5 cm auf dem höheren Wert gehalten (Kurvenabschnitt 16a) und anschließend in einem Übergangsbereich 17b mit der Veränderungsrate von 7,5 mm/s wieder auf den ursprünglichen Abstand von 15 cm verringert (Kurvenabschnitt 17a). Bei der weiteren Bewegung des Brennerblocks auf den Wendepunkt A zu, wird dieser Abstand wieder über eine Strecke von ca. 9 cm konstant gehalten (Kurvenabschnitt 14b) und anschließend das gleiche Abstandsprofil gefahren, wie es oben bei Wendepunkt B erläutert ist.

Das verzögerte Einstellen des kürzeren Abstandes beim Zurückfahren von den Wendepunkten A, B (Kurvenabschnitt 16a) bewirkt eine langsamere Aufheizung der von der Hinfahrt noch aufgewärmten Vorformoberfläche und verhindert somit eine Überhitzung der Vorformoberfläche in dem Bereich um die Wendepunkte A, B.

Das Vergrößern des Abstandes zwischen den Abscheidebrennern und der Vorformoberfläche im Bereich um die Wendepunkte trägt zusätzlich dazu bei, daß die Vorform über ihre Länge mit einer möglichst gleichmäßigen Heizleistung beaufschlagt wird. Es wurde eine Temperaturerhöhung im Bereich der Wendepunkte A, B von lediglich 35° C gemessen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Quarzglaskörpern, durch Abscheiden von  $\text{SiO}_2$ -Partikeln auf der Zylindermantelfläche eines um seine Längsachse rotierenden, zylinderförmigen Trägers unter Bildung einer länglichen, porösen Vorform, wobei die  $\text{SiO}_2$ -Partikel in einer Vielzahl von Abscheidebrennern gebildet werden, die in mindestens einer parallel zur Längsachse des Trägers verlaufenden Brennerreihe, die zwischen Wendepunkten, an denen sich ihre Bewegungsrichtung umkehrt, mit einer vorgegebenen Translationsgeschwindigkeit hin- und herbewegt wird, angeordnet sind, und Sintern der so hergestellten Vorform, dadurch gekennzeichnet, daß der Basiswert der Oberflächentemperatur der sich bildenden Vorform (62) im Bereich zwischen 1050° C und 1350° C, die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform (62) im Bereich zwischen 5 m/min und 30 m/min und die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe (66) im Bereich zwischen 100 mm/min und 1500 mm/min gehalten werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Vorform (62) im Bereich zwischen 8 m/min und 15 m/min und die mittlere Translationsgeschwindigkeit der Brennerreihe (66) im Bereich zwischen 300 mm/min und 800 mm/min gehalten werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-

kennzeichnet, daß der Abstand benachbarter Wendepunkte (A; B) im Bereich zwischen 5 cm und 40 cm gehalten wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen zwei benachbarten Abscheidebrennern einer Brennerreihe jeweils mindestens ein Warmhaltebrenner eingesetzt wird.

5. Verfahren zur Herstellung von Quarzglaskörpern, durch Abscheiden von  $\text{SiO}_2$ -Partikeln auf der Zylindermantelfläche eines um seine Längsachse rotierenden, zylinderförmigen Trägers unter Bildung einer länglichen, porösen Vorform, wobei die  $\text{SiO}_2$ -Partikel in einer Vielzahl von Abscheidebrennern gebildet werden, die in mindestens einer parallel zur Längsachse des Trägers verlaufenden Brennerreihe, die zwischen Wendepunkten, an denen sich ihre Bewegungsrichtung umkehrt, mit einer vorgegebenen Translationsgeschwindigkeit hin- und herbewegt wird, angeordnet sind, und Sintern der so hergestellten Vorform, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Wendepunkte (A; B) die Umfangsgeschwindigkeit der sich bildenden Vorform (62) erhöht und/oder die Flammentemperatur der Abscheidebrenner (65) gesenkt und/oder der Abstand der Abscheidebrenner (65) von der Vorformoberfläche (70) verändert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Flammentemperatur gesenkt wird, indem die Zufuhrate von Brennergasen zu den Abscheidebrennern (65) relativ zu den Zufuhraten von anderen den Abscheidebrennern (65) zugeführten Gasen verringert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß Inertgas den Abscheidebrennern (65) zugeführt oder die Zufuhr von Inertgas erhöht wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Zufuhr von Ausgangsstoffen zur Bildung der  $\text{SiO}_2$ -Partikel zu den Abscheidebrennern relativ zu der Zufuhr von Sauerstoff und/oder Wasserstoff erhöht wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit der Vorform (62), die Senkung der Flammentemperatur der Abscheidebrenner (65) und/oder die Veränderung des Abstandes der Abscheidebrenner (65) von der Vorformoberfläche (70) innerhalb von vor oder an den Wendepunkten (A; B) endenden Übergangsbereichen (6c; 10c; 12c; 16b) allmählich erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Hinbewegung der Brennerreihe (66) zu den Wendepunkten (A; B) ein kürzerer Übergangsbereich (10c; 12c) eingestellt wird als bei ihrer Wegbewegung von den Wendepunkten (A; B).

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Vorformoberfläche im Flammeneutreffpunkt eines Abscheidebrenners (65) gemessen und der gemessene Wert zur Regelung der Rotationsgeschwindigkeit des Trägers (61), der Flammentemperatur der Abscheidebrenner (65) und/oder des Abstandes der Abscheidebrenner (65) von der Vorformoberfläche (70), verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, die Rotationsgeschwin-



digkeit des Trägers (61), die Flammentemperatur der Abscheidebrenner (65) und/oder der Abstandes der Abscheidebrenner (65) von der Vorformoberfläche (70) gesteuert wird.

13. Verfahren, gekennzeichnet durch eine Kombination von einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4 und einem oder mehreren der Ansprüche 5 bis 11.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

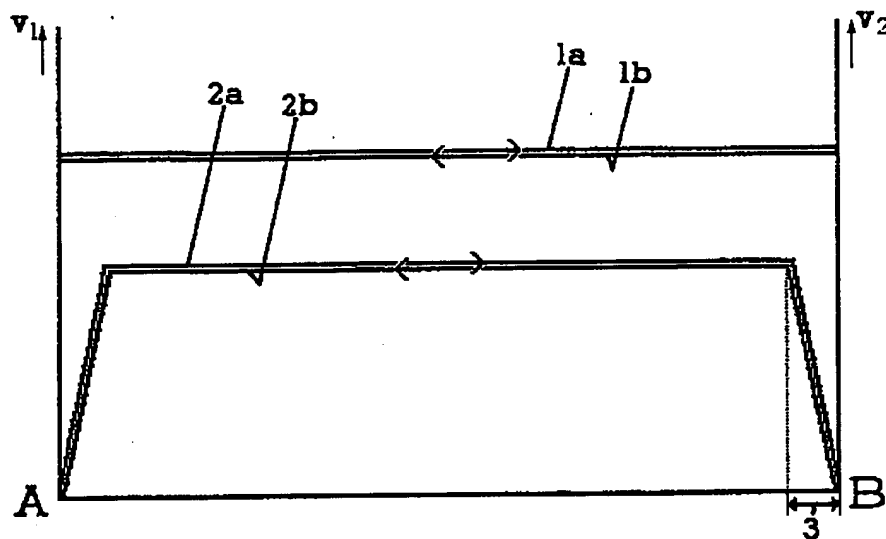


Fig. 1

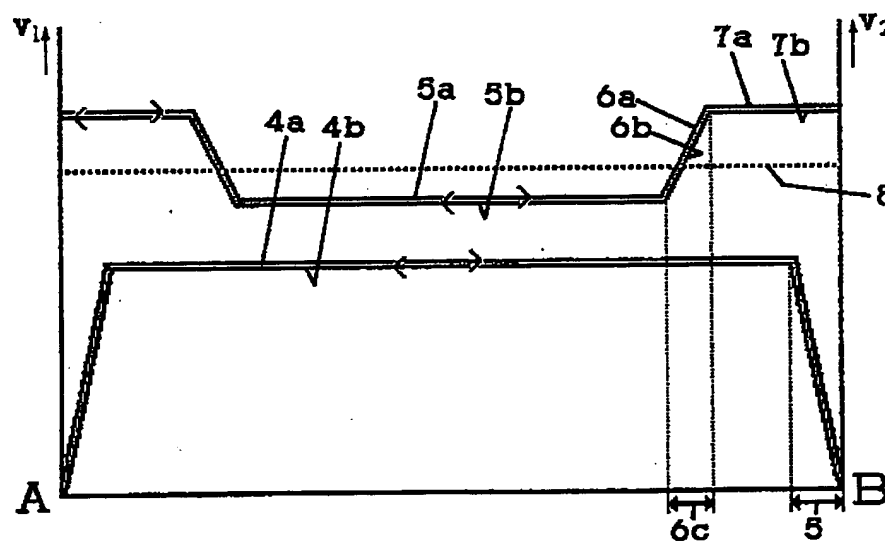


Fig. 2

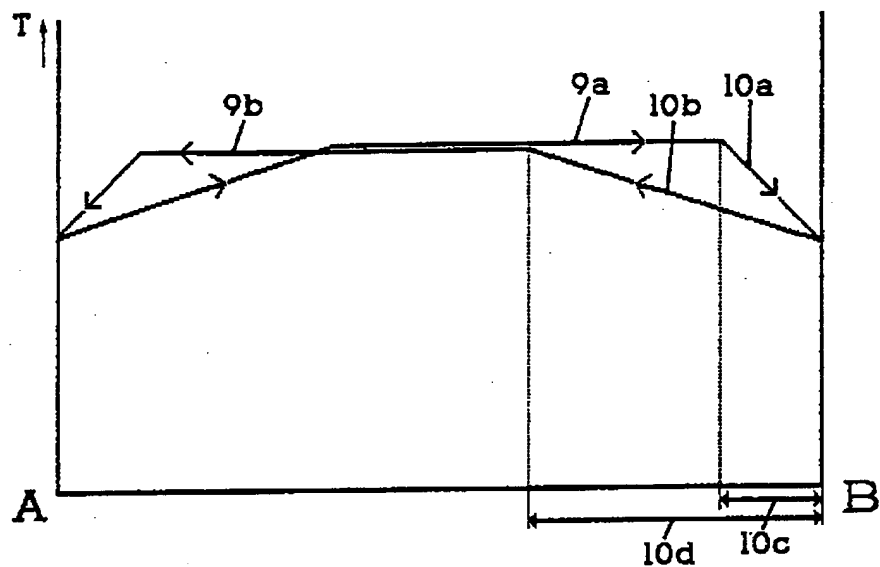


Fig. 3

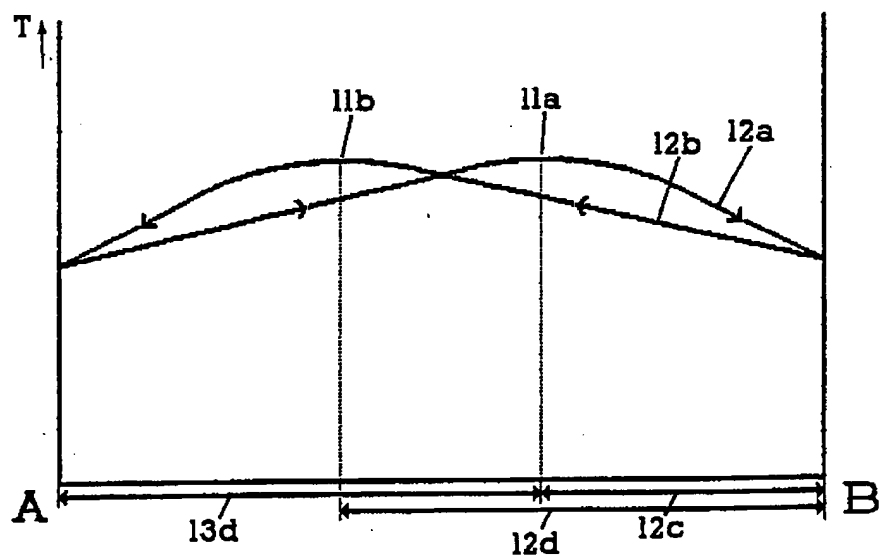


Fig. 4

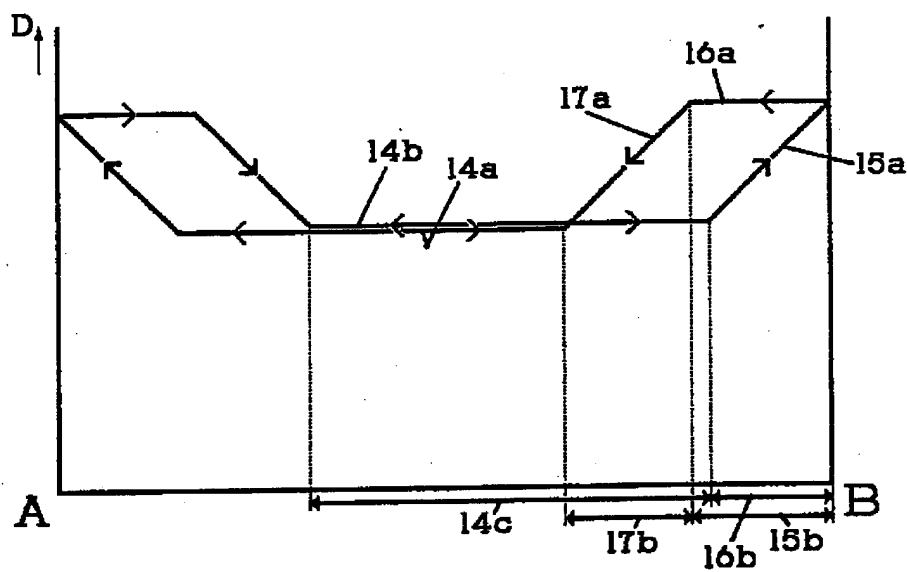


Fig. 5

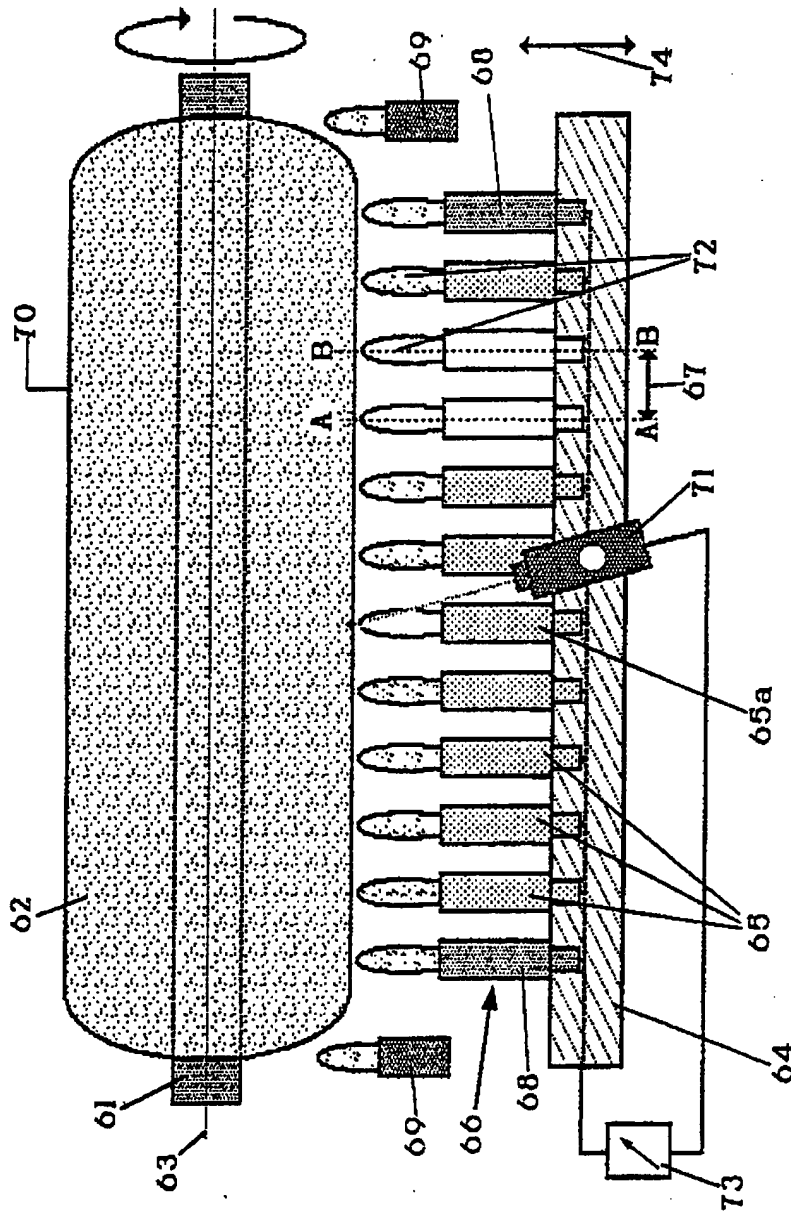


Fig. 6